

doi: <https://doi.org/10.15407/kfnt2023.04.089>

УДК 520.16, 520.18, 524.827, 628.98

О. Голубаєв, О. Железняк, В. Кайдаш

Науково-дослідний інститут астрономії
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,
Майдан Свободи 4, м. Харків, Україна, 61022
e-mails: alexandr_sky1@ukr.net, apzheleznyak@gmail.com, vgkaydash@gmail.com

Визначення астрокліматичних умов спостережного комплексу Науково-дослідного інституту астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Роботу присвячено порівнянню сучасних астрокліматичних умов (світлове забруднення, кількість безхмарних ночей) 14 астрономічних обсерваторій України. Мета роботи — оцінити перспективність подальшого розвитку спостережного комплексу Чугуївської спостережної станції Науково-дослідного інституту астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (НДІ астрономії ХНУ). Рівень світлового забруднення у вибраних спостережних астропунктах досліджено за допомогою Банку даних Глобальної карти світлового забруднення. Для аналізу статистики безхмарності неба у цих пунктах використовувалась База даних архіву погоди. Незалежне вимірювання інтегральної яскравості фону неба проведено за допомогою портативного інтегрального фотометра. Виявлено, що за показником світлового забруднення Чугуївська спостережна станція НДІ астрономії поміж інших обсерваторій України має найбільш сприятливі умови для астрономічних спостережень. Результати вимірювань інтегральної яскравості фону неба за допомогою портативного інтегрального фотометра показали досить темний для рівнинної обсерваторії фон неба на Чугуївській спостережній станції НДІ астрономії, яка не поступається показниками КрАО. Вибірковий аналіз бази даних архіву погоди за період 2017...2019 рр. для південного, західного, східного та центрального регіонів України показав, що у середньому статистичні показники безхмарності неба у цих пунктах відрізняються мало. Зважаючи на результати досліджень астро-

© Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, 2023

© Видавець ВД «Академперіодика» Національної академії наук України, 2023

клімату, відсутність на відстанях 15...20 км від Чугуївської спостережної станції джерел суттєвого світлового забруднення (та малу ймовірність появи таких у найближчому майбутньому), можна зробити висновок про доцільність проведення модернізації спостережного комплексу НДІ астрономії ХНУ, зокрема будівництва на його території сучасного телескопа класу 1...2 м.

Ключові слова: *астроклімат, світлове забруднення, спостережна астрономія.*

ВСТУП

Астрономічний клімат є одним з ключових факторів, що визначають ефективність наземних астрономічних спостережень у кожному пункті. Астрокліматичні дослідження останніх десятиліть активно проводяться при виборі місць розташування астрономічних обсерваторій.

До основних параметрів, що визначають загальний астроклімат місцевості, належать: кількість ясних днів і ночей, прозорість атмосфери, кількість днів і ночей з максимальною прозорістю, ступінь запилення повітря, частоту появи роси і туманів, якість зображень та ряд інших [3]. Важливою характеристикою для астрономічних спостережень є яскравість фону нічного неба, яка залежить, зокрема, і від підсвічування неба навколишніми населеними пунктами («світлове забруднення»). У результаті стрімкого розширення населених пунктів і розвитку інфраструктури зростає роль глобального світлового забруднення, яке є завадою для астрономічних спостережень. Штучне освітлення збільшує яскравість нічного неба, створюючи найбільш помітний ефект світлового забруднення — штучне світіння неба.

Метою даного дослідження є порівняння сучасних астрокліматичних умов для астрономічних обсерваторій України та визначення перспектив модернізації спостережного комплексу Науково-дослідного інституту астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (НДІ астрономії ХНУ) у найближчому майбутньому.

АНАЛІЗ БАНКУ ДАНИХ ГЛОБАЛЬНОЇ КАРТИ СВІТЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Для проведення оцінок астроклімату у різних регіонах України використовувалася Банк даних Глобальної інтерактивної карти світлового забруднення [4], що є картографічним додатком (рис. 1), який відображає супутникові спостереження проєктів VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), а виміри накладаються на базові шари Microsoft Bing (дорожні і гібридні карти Bing). Банк даних Глобальної інтерактивної карти світлового забруднення дозволяє виділити деяку площу аналізу-

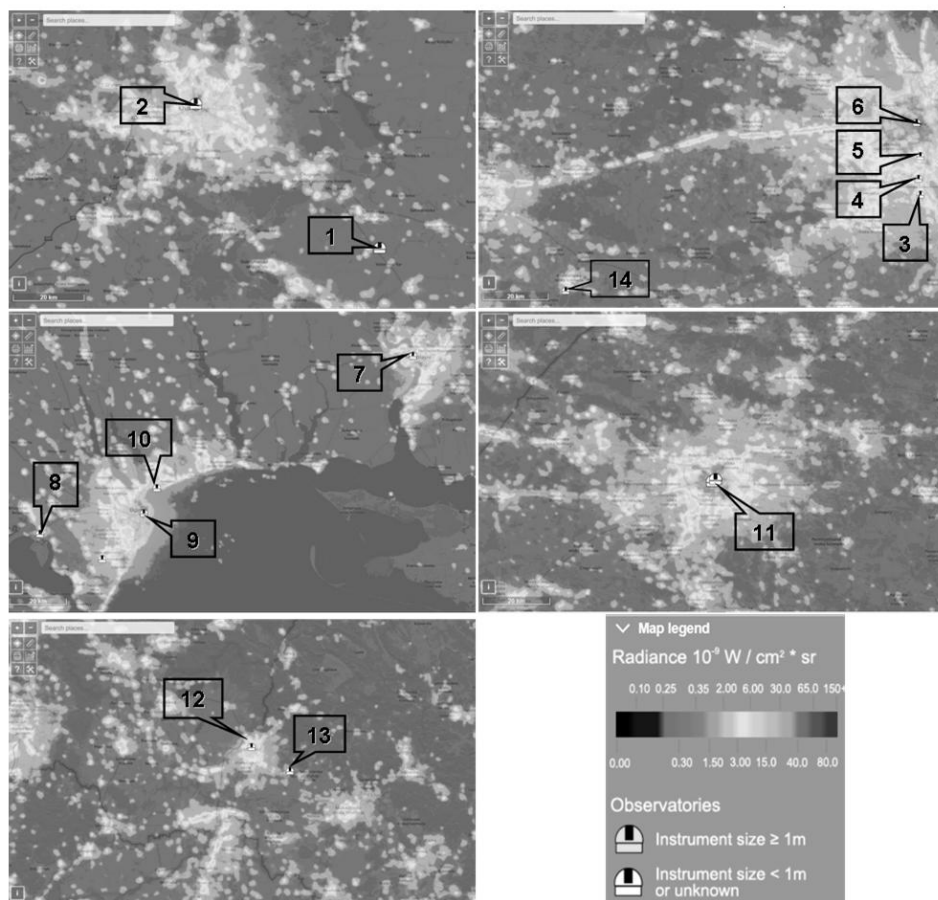


Рис. 1. Усереднене за 2021 рік значення штучного засвічення неба згідно з матеріалами Банку даних Глобальної інтерактивної карти світлового забруднення [4]. Номер обсерваторії відповідає нумерації у табл. 1 (перша графа)

ваної області та отримати для неї значення яскравості неба у зеніті та статистичну величину штучного засвічення неба над пунктом спостереження (рис. 2).

Ці дані зведено у табл. 1, де приведено назви обсерваторій; їхні коди, координати у системі WGS-84, яскравість неба у зеніті над пунктом спостереження (m_0 , у зоряних величинах на квадратну дугову секунду); статистична величина B (10^{-9} Вт см $^{-2}$ стр $^{-1}$) штучного засвічення неба в аналізованій області; сумарне і середнє значення (B і \bar{B}) штучного засвічення неба; стандартне відхилення від середнього значення, B_{\min} і B_{\max} — мінімальне і максимальне значення штучного засвічення неба.

Для визначення середньої величини штучного засвічення неба в одній обраній аналізованій області (рис. 2) ми використовували площі двох розмірів: радіусом 1 км (3.14 км 2) та 30 км (2827 км 2). У першому випадку середнє значення штучного засвічення неба відображає локальну величину, тобто безпосередньо у пункті розташування астро-

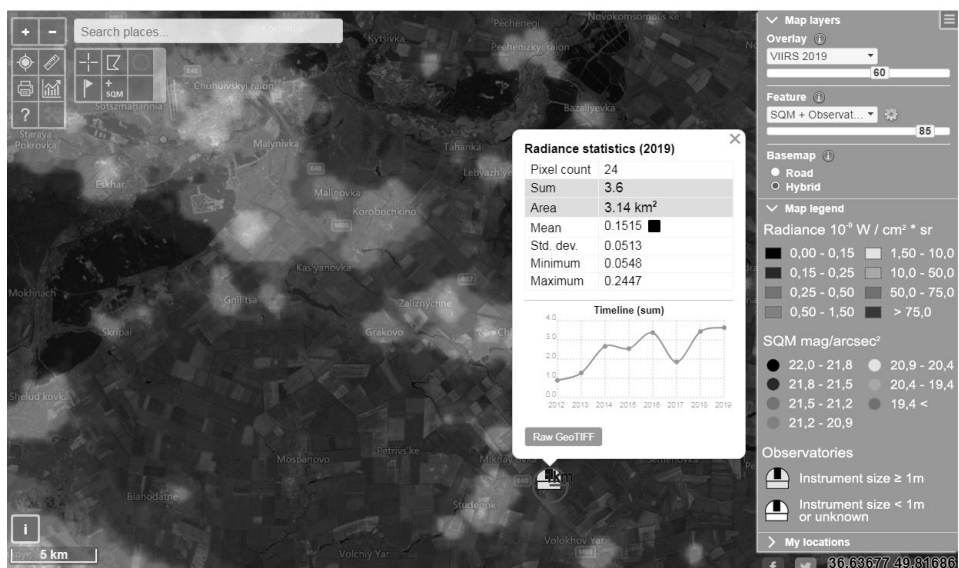


Рис. 2. Приклад вимірювання світлового забруднення навколо Чугуївської спостережної станції НДІ астрономії у 2019 р. (за даними Банку даних Глобальної карти світлового забруднення)

Таблиця 1. Величини штучного засвічення неба в області з радіусом 1 км за спостереженнями у 2019 році

№	Пункт	Номер MPC	, ,	m_0	$B, 10^{-9} \text{ Вт см}^{-2} \text{ стp}^{-1}$				
					B	\bar{B}		B_{\min}	B_{\max}
1	Чугуївська станція, ХНУ	121	49.63927 , 36.94956	21.77 ^m	3.6	0.15	0.05	0.055	0.25
2	Харків, ХНУ	101	50.00270, 36.23220	18.81	1179.47	51.30	21.83	25.07	114.43
3	Лісники	L35	50.25659, 30.51872	20.51	44.57	2.03	0.88	0.98	4.12
4	Київська кометна станція	585	50.30006, 30.51094	20.18	128.5	5.84	2.75	1.49	10.82
5	Голосіїв, Київ	083	50.36240, 30.51908	19.54	85.9	3.91	0.61	3.16	5.53
6	Київ	085	50.45296, 30.50230	18.39	1100.5	47.85	12.14	31.41	78.58
7	Миколаїв	089	46.96974, 31.98758	19.71	455.3	21.68	2.40	17.32	26.31
8	Одеса — Маяки	583	46.40626, 30.27095	21.33	70.36	3.35	2.53	0.44	9.87
9	Одеса	086	46.47083, 30.74849	19.0	801.75	40.09	10.83	23.01	61.35
10	Одеська АО, Крижанівка	A85	46.55161, 30.80888	20.09	213.64	9.71	4.48	1.50	20.09
11	АО ЛНУ, Брюховичі	067	49.91757, 23.95440	20.76	50.32	2.29	1.38	0.55	4.65
12	Ужгород	061	48.62591, 22.29116	20.27	439.8	18.33	4.99	10.11	27.90
13	ISON — Ужгородська обсерваторія	K99	48.55547, 22.45993	21.62	11.91	0.57	0.43	0.27	2.35
14	Андрушівка АО	A50	49.99400, 29.00682	21.65	7.8	0.35	0.16	0.14	1.55

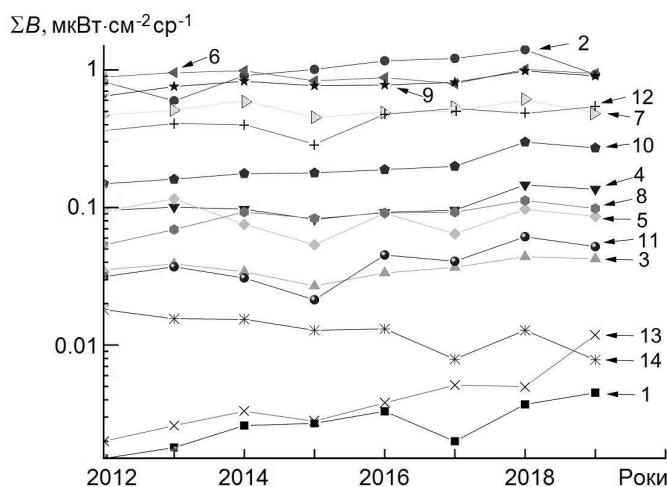


Рис. 3. Зміна сумарної величини штучного засвічення неба в області радіусом 1 км (3.14 км²) у 2012—2019 рр. Стрілкою вказано номер обсерваторії, що відповідає нумерації табл. 1 (перша графа)

номічної обсерваторії. У другому випадку такий розмір області був вибраний з міркувань врахування впливу штучного засвічення навколишніх населених пунктів. Аналіз даних для області радіусом 30 км не показав суттєвих змін з часом, на відміну від даних для області радіусом 1 км. Тому надалі ми наводимо статистику тільки для області радіусом 1 км (рис. 3), яка характеризує величину засвічення неба безпосередньо в даному астропункті. Таким чином, ми можемо порівняти світлове забруднення за один і той же рік між різними пунктами спостережень, або прослідкувати, як змінюється у часі ця характеристика для кожного пункту окремо. Тобто, в останньому випадку ми можемо прогнозувати тенденцію змін штучного світлового забруднення неба в аналізованій області з часом.

Ми проаналізували величину світлового забруднення за період часу 2012...2019 років у 14 астрономічних пунктах України, які мають офіційний код обсерваторії у базі даних МРС. Ці обсерваторії лежать на висотах порядку 40...330 м над рівнем моря, тобто не є високогірними. На рис. 3 відображено зміну сумарної величини штучного засвічення неба в аналізованій області радіусом 1 км у 2012—2019 рр.

На рис. 3 умовно можна виділити три групи кривих. До першої групи можна віднести обсерваторії, які мають найбільше значення світлового забруднення неба. Ці обсерваторії розташовані безпосередньо у містах Харків, Київ, Одеса, Миколаїв, Ужгород (з номерами на діаграмі 2, 6, 9, 7, 12, 10). До другої групи належать обсерваторії, розташовані або на околиці великих міст, або у населених пунктах зі значною штучною освітленістю (номери 3, 4, 5, 8, 11). До третьої групи входять обсерваторії, розташовані у населених пунктах з незначною штучною освітленістю або поблизу них (номери 1, 13, 14).

Звертає на себе увагу обсерваторія під номером 14 на рис. 3. Крива зміни світлового забруднення для цього пункту перейшла з другої гру-

пи (2012 р.) до третьої (у 2019 р.), тобто спостерігається значне зниження рівня освітленості. Ця обсерваторія розташована у невеликому містечку Андрушівка. Можна припустити, що це пов'язано зі значним скороченням господарської діяльності, а отже, зменшеним використанням джерел освітлення. Підтвердженням такого припущення є інформація з інтернету [1] про часткове або повне закриття місцевих великих підприємств, зменшення населення цього містечка тощо.

Крива 1 на рис. 3 відповідає астрокліматичним умовам Чугуївської спостережної станції НДІ астрономії ХНУ імені В. Н. Каразіна. З рис. 1 і 2 та табл. 1 легко бачити, що цей астропункт розташований у найбільш сприятливих умовах, тобто з найменшим рівнем штучного засвічення неба з-поміж інших обсерваторій. Хоча і спостерігається незначне підвищення величини світлового забруднення із часом, станція має кращі умови для астрономічних спостережень, ніж інші розглянуті обсерваторії України. Спостережна станція розташована серед великої площі сільськогосподарських полів та далеко від великих міст (Харків віддалений на 60 км). Найближчі маленькі села віддалені більш ніж на 2...3 км від астропункту. Через відсутність на відстанях ближче 15...20 км джерел значного світлового забруднення (міст) та інші особливості розташування обсерваторії є підстави вважати, що причин для суттєвого збільшення світлового забруднення у близькому майбутньому немає.

ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ЯСКРАВОСТІ ФОНУ НЕБА ЗА ДОПОМОГОЮ ПОРТАТИВНОГО ІНТЕГРАЛЬНОГО ФОТОМЕТРА

Однією з важливих характеристик, що визначають умови астрономічних спостережень у кожному пункті, є яскравість нічного неба. Яскравість фону неба, як правило, вимірюється і враховується при виконанні стандартних фотометричних спостережень. У процесі цих спостережень фон цілеспрямовано оцінюється по ділянках неба, вільних від зірок та інших об'єктів. При цьому певний інтерес становлять інтегральні фотометри, які дозволяють виконувати прямі вимірювання яскравості фону неба у великих тілесних кутах. Подібні фотометри незамінні для оперативних експрес-вимірювань, зокрема при виборі нових місць для обсерваторій, коли стаціонарне устаткування для фотометричних вимірювань просто відсутнє.

Для вимірювання інтегральної яскравості фону неба ми використовували портативний фотометр SQM (Sky Quality Meter). Згідно з описом виробника, фотометр SQM вимірює інтегральний потік у видимому діапазоні спектру у межах тілесного кута порядку 40°. Час одиничного вимірювання залежить від яскравості фону неба і автоматично підлаштовується для досягнення заданого відношення сигнал/шум. Результат вимірювання перераховується і відображається на екрані приладу в зоряних величинах з квадратної секунди дуги. При не-

обхідності оцінки яскравості фону неба, отримані з SQM, можна прив'язати до яскравості фону у стандартних фотометричних смугах шляхом синхронних фотометричних спостережень у тому ж пункті та побудови відповідних кореляційних залежностей.

Мета вимірювань з SQM полягала в експрес-порівнянні яскравості фону неба в декількох астропунктах. Для виключення можливих систематичних похибок при вимірюваннях використовувався один і той же екземпляр фотометра SQM. Для вимірювання було прийнято таку методику:

— вимірювання проводяться у безхмарну безмісячну ніч близько місцевої опівночі;

— яскравість фону неба вимірюється в області зеніту (вісь фотометра спрямовано вертикально вгору);

— виконується 3-5 вимірювань SQM підряд, результат усереднюється.

Слід зазначити хорошу збіжність результатів вимірювань фотометра SQM при послідовних вимірюваннях; типовий розкид значень становить близько 1 % (0.01^m).

Вимірювання проведено у трьох астропунктах — Кримській астрофізичній обсерваторії, високогірній обсерваторії на горі Майданак та Чугуївській спостережній станції НДІ астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Вимірювання у кожному з пунктів проводилися як мінімум впродовж одного сезону, у літній період, температура повітря при вимірюваннях в усіх трьох пунктах була близькою ($18...20\text{ }^\circ\text{C}$). Дані вимірювань представлено у табл. 2. Середнє значення для кожного з пунктів, приведене у табл. 2, отримано за даними вимірювань трьох-п'яти ночей, найкраще значення (остання графа) є мінімальним з вибірки вимірювань по ночах, отриманих для вибраного пункту.

Результати, представлені у табл. 2, були очікуваними: перевага високогірної обсерваторії на г. Майданак (МВО) над пунктом, розташованим нижче (КраО), і практично рівнинною обсерваторією (ЧСС) є очевидною. КраО і ЧСС розташовані недалеко від густонаселених районів, і тому яскравість фону неба має помітний внесок від світлового забруднення та інших техногенних чинників. Слід зазначити досить

Таблиця 2. Результати вимірювань інтегральної яскравості фону неба (m_0 , у зоряних величинах на квадратну дугову секунду) над астропунктами за допомогою портативного фотометра SQM

Пункт	Висота над рівнем моря, м	m_0	
		Середнє значення	Найкраще значення
Високогірна обсерваторія на г. Майданак	2650	21.77 ^m	21.86 ^m
Кримська астрофізична обсерваторія	600	21.36	21.48
Чугуївська спостережна станція	156	21.45	21.55

темний для рівнинної обсерваторії фон неба на ЧСС, який не поступається показниками на КраО, розташованій у гірській місцевості.

Ще одним важливим фактором є відсутність на відстанях 15...20 км від ЧСС великих населених пунктів, що унеможлиблює у найближчому майбутньому появу джерел значного світлового забруднення.

СТАТИСТИКА ПОГОДНИХ УМОВ У РЕГІОНАХ РОЗТАШУВАННЯ ОБСЕРВАТОРІЙ

При оцінці сприятливих для астрономічних спостережень погодних умов (безхмарне небо, відсутність дощу, снігу і туману) у регіонах розташування обсерваторій було використано середньорічну статистику за даними архіву погоди сайту [2] (за період 2017...2019 роки). У цьому випадку використовувались дані про погодні умови в аеропортах тих регіонів, які найближче розташовані до обсерваторій. База даних дозволяє зробити усереднені статистичні вибірки як щорічні, так і по місяцях. У табл. 3 та на рис. 4 приведено статистику відсутності істотної хмарності (або повна безхмарність) за даними спостережень метеорологічних станцій аеропортів, розташованих у містах Одеса, Харків, Київ (Жуляни) та Львів. Відносна величина безхмарності була отримана як відношення числа n випадків істотної безхмарності до загальної кількості N спостережень.

З табл. 3 бачимо, що кількість безхмарного неба у всіх вибраних регіонах має величину 40...60 %. Як і очікувалось, більш безхмарною є тепла частина року. У цей період (з квітня по жовтень місяці) більш ніж 60 % ночей є придатними до астрономічних спостережень по всіх регіонах України. Деякі розбіжності у коливаннях хмарності за різними роками зумовлені особливостями погодних умов у різних регіонах.

Таблиця 3. Середньорічна статистика безхмарного неба у регіоні розташування обсерваторій у 2017...2019 рр. (за даними [2])

Рік	N	n	n/N
Одеса (аеропорт)			
2017	20274	9801	0.48
2018	20694	9668	0.47
2019	20600	10541	0.51
Харків (аеропорт)			
2017	18283	6765	0.37
2018	18664	9458	0.51
2019	18863	9869	0.52
Київ (аеропорт Жуляни)			
2017	2920	1873	0.64
2018	2920	1837	0.63
2019	2920	1987	0.68
Львів (аеропорт)			
2017	2920	1541	0.53
2018	2919	1510	0.52
2019	2919	1750	0.60

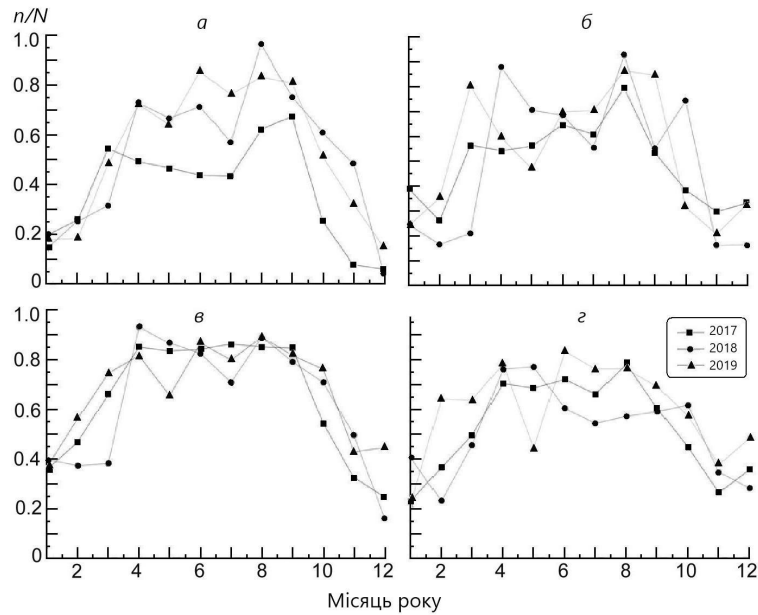


Рис. 4. Середньомісячна статистика безхмарного неба у регіоні розташування обсерваторій по місяцях за 2017—2019 рр.: а — Харків; б — Одеса; в — Київ (Жуляни); з — Львів. За даними архіву погоди [2] (метеостанції аеропортів)

ВИСНОВКИ

Ми порівняли сучасні астрокліматичні умови 14 астрономічних обсерваторій України. Було досліджено рівень світлового забруднення у всіх пунктах за допомогою Банку даних Глобальної карти світлового забруднення [4]. Виявлено, що за цим показником Чугуївська спостережна станція НДІ астрономії з-поміж інших обсерваторій України має найбільш сприятливі умови для астрономічних спостережень.

Було проведено вимірювання інтегральної яскравості фону неба за допомогою портативного інтегрального фотометра. Результати вимірювань показали досить темний для рівнинної обсерваторії фон неба на Чугуївській спостережній станції НДІ астрономії, яка не поступається показникам на Кримській астрофізичній обсерваторії.

Аналіз бази даних архіву погоди [2] для Одеси, Харкова, Києва (Жуляни) та Львова за період 2017—2019 рр. показав, що кількість безхмарного неба у вибраних регіонах становить 40...60 %. Як і очікувалось, найбільш безхмарним є період з квітня по жовтень, коли понад 60 % ночей є придатними для астрономічних спостережень.

Зважаючи на результати проведених досліджень астроклімату, відсутність на відстанях 15...20 км від Чугуївської спостережної станції джерел суттєвого світлового забруднення (та малу ймовірність появи таких у найближчому майбутньому), можна зробити висновок про сприятливі астрокліматичні умови. Отже, проведення модернізації спостережного комплексу НДІ астрономії Харківського національно-

го університету імені В. Н. Каразіна є доцільним, зокрема доцільним є будівництво на його території великого телескопа класу 1...2 м.

Робота частково виконувалась в рамках договору № БФ/32-2021 на виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна за рахунок фінансування Міністерства освіти і науки України.

1. *Андрушівка*. 2021. URL: www.uk.wikipedia.org/wiki/Андрушівка
2. *Погода в 243 країнах світу*. 2019. URL: www.rp5.ua/
3. Щеглов П. В. *Проблемы оптической астрономии*. М.: Наука. Гл. издат. физ.-мат. лит. 1980. 272 с.
4. *Light pollution map*. 2021. URL: www.lightpollutionmap.info/

A. V. Golubaev, A. P. Zheleznyak, V. G. Kaydash
Institute of Astronomy of V. N. Karazin Kharkiv National University
35 Sumska Str., Kharkiv, 61022, Ukraine

ASSESSMENT OF ASTROCLIMATE CONDITIONS OF THE OBSERVATION COMPLEX OF THE RESEARCH INSTITUTE OF ASTRONOMY, V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY

The paper is dedicated to the comparison of modern astroclimate conditions (such as light pollution, the number of cloudless nights) of 14 astronomical observatories of Ukraine. The authors aimed to consider the prospects for further development of the observation complex of the Chuguiv observation station of the Research Institute of Astronomy of V.N. Karazin Kharkiv National University. The level of light pollution in selected observational astronomical facilities was investigated using the Global Light Pollution Map Data Bank. To analyze the statistics of cloudlessness of the sky in these sites the Weather Archive Database have been used. Independent measurement of the integral brightness of the sky background was carried out using a portable integral photometer. It was revealed that in terms of light pollution, the Chuguiv observational station of the Research Institute of Astronomy has the most favorable conditions for astronomical observations compared to other observatories of Ukraine. The results of measurements of the integral brightness of the sky background using a portable integral photometer showed a rather dark sky background for a plainland observatory at the Chuguiv observation station of the Research Institute of Astronomy, with the level of indicators similar to KrAO. A selective analysis of the weather archive database for the period 2017...2019 for the southern, western, eastern, and central regions of Ukraine showed that, on average, the statistics of the sky cloudiness is almost the same for these sites. Considering the results of astroclimate research, the absence of sources of significant light pollution at distances of 15...20 km from the Chuguiv observation station (and the appearance of such sources in the near future), we can conclude that it is worthwhile to modernize the observation complex of the Research Institute of Astronomy of V. N. Karazin Kharkiv National University, in particular, the construction of a modern telescope of 1...2 m class on its territory.

Keywords: astroclimate, light pollution, observational astronomy.

Стаття надійшла до редакції 07.02.2022
Після доопрацювання 07.02.2022
Прийнята до друку 12.04.2023